

УДК 620.178.311.82

СПОСІБ ВИПРОБОВУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ НА ВІБРОМІЦНІСТЬ

І.Д. Пузько¹

У роботі отримані аналітичні співвідношення для визначення швидкості розгортки частоти сигналу збуджувальної вібростенд дії при урахуванні діапазону частот амплітудно-частотної характеристики вібростенда, резонансної частоти, добротності випробовуваного об'єкта, а також при урахуванні умови нелінійності зміщення по частоті максимуму обвідної напіврозмахів коливань динамічного резонансного піку відносно частоти максимуму статичного від швидкості розгортки частоти сигналу збудження вібростенда.

ВСТУП І АНАЛІЗ ВІДОМИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Одним з ефективних методів, що застосовується при проведенні вібровипробовувань на віброміцність, вібронадійність і вібротривкість, є метод сканування частоти сигналу збуджувальної вібростенд дії [1,2,3].

Такий метод дозволяє зменшити часовий інтервал формування заданого по програмі числа циклів вібровипробовувань об'єктів, тобто зменшити часовий інтервал виробітку ресурсу випробовуваного об'єкта за рахунок реалізації режимів неусталених коливань при скануванні частоти сигналу збудження в зонах резонансних піків амплітудно-частотних характеристик випробовуваних об'єктів.

Відомий спосіб вібровипробовувань, який заснований на методі розгортки частоти сигналу збуджувальної дії, що забезпечує тільки оцінку часового інтервалу формування заданого за програмою числа циклів навантаження випробовуваного об'єкта при заданій постійній швидкості розгортки частоти по лінійному закону [4].

Такий спосіб і пристрій для його здійснення не забезпечують визначення швидкості розгортки частоти сигналу збуджувальної дії залежно від максимально допустимого за технічними характеристиками рівня вібропереміщення (віброприскорення) для конкретного типу вібростенда, що призводить до обмеження технологічних можливостей і зменшення ККД.

Відомий також інший спосіб випробовування виробів на віброміцність[5].

Такий спосіб забезпечує можливість визначення постійної швидкості розгортки частот сигналу збуджувальної дії при урахуванні максимально допустимого за технічними характеристиками рівня вібропереміщення (віброприскорення) для використовуваного типу вібростенда, максимально можливій величині швидкості розгортки частоти сигналу збуджувальної дії і заданого за програмою рівня вібропереміщення (віброприскорення) випробовуваного об'єкта.

Але такий спосіб випробовування виробів на віброміцність і пристрій для його здійснення не забезпечують можливість урахування верхньої частоти діапазону частот, що відповідає амплітудно-частотній характеристиці вібростенда. Такий недолік не дозволяє ефективно застосовувати технологічні можливості вібростендів електродинамічного типу при проведенні вібровипробовувань і призводить до зменшення ККД.

Відомий також спосіб випробовування об'єктів на віброміцність, що забезпечує такий технічний алгоритм функціонування пристрою для його здійснення, згідно з яким при визначенні величини швидкості розгортки частоти сигналу збуджувальної дії враховується як максимально

¹ Канд. техн. наук, доцент, Сумський державний університет.

допустимий за технічними характеристиками рівень вібропереміщення (віброприскорення) для застосовуваного типу вібростенда електродинамічного типу, так і верхня частота діапазону частот амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) [7].

Але вище згадані способи випробовування об'єктів на віброміцність і пристрої для їх здійснення засновані на наближеному визначенні інтеграла згортки, що призводить до наближеного визначення швидкості розгортки частоти сигналу збуджувальної вібростенд електродинамічного типу дії за рахунок неврахування нелінійності зміщення частот максимумів динамічних резонансних піків відносно частот максимумів статичних залежно від постійної швидкості розгортки частоти сигналу збудження вібростенда.

ПОСТАВЛЕННЯ ЗАВДАННЯ

Ставиться задача формування способу випробовування об'єктів на віброміцність, згідно з яким при визначенні значення швидкості розгортки частоти сигналу збуджувальної вібростенд дії враховують нелінійність зміщення по частоті максимуму обвідної напіврозмахів коливань динамічного резонансного піку відносно максимуму статичного залежно від швидкості розгортки частоти сигналу збуджувальної дії.

Формування алгоритму для реалізації такого способу випробовування об'єктів на віброміцність і розроблення пристрою для його здійснення забезпечує розширення технологічних можливостей вібростенда електродинамічного типу за рахунок підвищення вірогідності інформаційного масиву даних і підвищення ККД.

Алгоритм нового способу формують на підставі таких міркувань.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ

Аналіз проводимо для математичної моделі випробовуваного об'єкта у вигляді лінійного неоднорідного диференціального рівняння другого порядку з постійними коефіцієнтами, що має вигляд

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2\delta \frac{dy}{dt} + \omega_0^2 y = f(t), \quad (1)$$

де

$$f(t) = F_a \sin[\omega(t)t](m)^{-1}, \quad \omega(t) = \omega_n + Vt, \quad \omega = c(m)^{-1}; \quad (2)$$

y – координата, що визначає положення випробовуваного об'єкта;

t – поточний час; δ – коефіцієнт демпфування; ω_0 – власна частота лінійної коливальної системи (ЛКС); F_a – амплітудне значення сигналу збудження; ω_n – початкове значення частоти сигналу збудження; $V > 0$ – постійна швидкість розгортки частоти сигналу збудження; c – коефіцієнт жорсткості.

У роботі [6] отримано співвідношення для визначення частоти максимуму динамічного резонансного піку залежно від постійної швидкості розгортки частоти сигналу $f(t)$ збудження

$$\omega_i^{\pm} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2} \pm \sqrt{1,5\pi V_i} [1 + 0,28\delta(\sqrt{V_i})^{-1}]^{-2}, \quad (3)$$

де ω_i^{\pm} – частота максимуму динамічного резонансного піку, що відповідає постійній швидкості V_i розгортки частоти сигналу збудження; знак „+”

має місце при реалізації режиму розгортки частоти в бік її збільшення, знак „-” має місце при реалізації режиму розгортки частоти в бік її зменшення.

При виконанні умови

$$\omega_0 \gg \delta, \quad \delta \left(\sqrt{V_i} \right)^{-1} \ll 1, \quad (4)$$

що має місце для реальних об’єктів, співвідношення (3) набуває вигляду

$$\omega_i^{\pm} \cong \omega_0 \pm \sqrt{1,5\pi V_i} \left[1 + 0,56\delta \left(\sqrt{V_i} \right)^{-1} \right]^{-1}. \quad (5)$$

При $i=1,2$ із (5) отримаємо систему співвідношень:

$$\left. \begin{aligned} \omega_1^+ &\cong \omega_0 + \sqrt{1,5\pi V_1} \left(1 + 0,56\delta \left(\sqrt{V_1} \right)^{-1} \right)^{-1}, \\ \omega_1^- &\cong \omega_0 - \sqrt{1,5\pi V_1} \left(1 + 0,56\delta \left(\sqrt{V_1} \right)^{-1} \right)^{-1}, \\ \omega_2^+ &\cong \omega_0 + \sqrt{1,5\pi V_2} \left(1 + 0,56\delta \left(\sqrt{V_2} \right)^{-1} \right)^{-1}, \\ \omega_2^- &\cong \omega_0 - \sqrt{1,5\pi V_2} \left(1 + 0,56\delta \left(\sqrt{V_2} \right)^{-1} \right)^{-1}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

При застосуванні першого і третього співвідношень системи (6) отримаємо квадратне рівняння відносно $\sqrt{V_1}$:

$$\begin{aligned} V_1 - \sqrt{V_1} \left[\frac{V_2}{\sqrt{V_2} + 0,56\delta} - \frac{(\omega_2^+ - \omega_1^+)}{\sqrt{1,5\pi}} \right] - \\ - 0,56\delta \left[\frac{V_2}{\sqrt{V_2} + 0,56\delta} - \frac{(\omega_2^+ - \omega_1^+)}{\sqrt{1,5\pi}} \right] = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Розв’язання рівняння (7) має вигляд

$$\sqrt{V_1} = \frac{1}{2} \left[\frac{V_2}{\sqrt{V_2} + 0,56\delta} - \frac{(\omega_2^+ - \omega_1^+)}{\sqrt{1,5\pi}} \right].$$

$$\left[1 \pm \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 0,56\delta}{\left(\frac{V_2}{\sqrt{V_2} + 0,56\delta} - \frac{\omega_2^+ - \omega_1^+}{\sqrt{1,5\pi}} \right)}} \right]. \quad (8)$$

Беручи до уваги умову $\sqrt{V_1} > 0$, виберемо лише один корінь співвідношення (8):

$$\sqrt{V_1} = \frac{1}{2} \left[\frac{V_2}{\sqrt{V_2} + 0,56\delta} - \frac{(\omega_2^+ - \omega_1^+)}{\sqrt{1,5\pi}} \right] \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 0,56\delta}{\frac{V_2}{\sqrt{V_2} + 0,56\delta} - \frac{\omega_2^+ - \omega_1^+}{\sqrt{1,5\pi}}}} \right]. \quad (9)$$

При застосуванні другого і четвертого співвідношень системи (6) після нескладних перетворень отримаємо співвідношення аналогічне до (9):

$$\sqrt{V_1} = \frac{1}{2} \left[\frac{V_2}{\sqrt{V_2} + 0,56\delta} - \frac{(\omega_1^- - \omega_2^-)}{\sqrt{1,5\pi}} \right] \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 0,56\delta}{\frac{V_2}{\sqrt{V_2} + 0,56\delta} - \frac{\omega_1^- - \omega_2^-}{\sqrt{1,5\pi}}}} \right]. \quad (10)$$

При застосуванні першого і четвертого (другого і третього) співвідношень системи (6) отримаємо такі співвідношення відповідно:

$$\begin{aligned} \sqrt{V_1} = & + \frac{1}{2} \left[\frac{V_2}{\sqrt{V_2} + 0,56\delta} - \frac{(\omega_1^+ - \omega_2^-)}{\sqrt{1,5\pi}} \right] \\ & \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 0,56\delta}{\frac{V_2}{\sqrt{V_2} + 0,56\delta} - \frac{\omega_1^+ - \omega_2^-}{\sqrt{1,5\pi}}}} \right], \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \sqrt{V_1} = & + \frac{1}{2} \left[\frac{V_2}{\sqrt{V_2} + 0,56\delta} - \frac{(\omega_2^+ - \omega_1^-)}{\sqrt{1,5\pi}} \right] \\ & \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 0,56\delta}{\frac{V_2}{\sqrt{V_2} + 0,56\delta} - \frac{\omega_2^+ - \omega_1^-}{\sqrt{1,5\pi}}}} \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

При введенні інших позначень, а саме:

при $V_{зад} = V_1$, $V_{\max} = V_2$, $\omega_{\max}^+ = \omega_2^+$, $\omega_{зад}^+ = \omega_1^+$ співвідношення (9) набуває вигляду

$$\sqrt{V_{зад}} = \frac{1}{2} \left[\frac{V_{\max}}{\sqrt{V_{\max}} + 0,56\delta} - \frac{(\omega_{\max}^+ - \omega_{зад}^+)}{\sqrt{1,5\pi}} \right] \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 0,56\delta}{\frac{V_{\max}}{(\sqrt{V_{\max}} + 0,56\delta)} - \frac{(\omega_{\max}^+ - \omega_{зад}^+)}{\sqrt{1,5\pi}}}} \right]; \quad (13)$$

при $\omega_{\max}^- = \omega_2^-$, $\omega_{зад}^- = \omega_1^-$ співвідношення (10) набуває вигляду

$$\sqrt{V_{зад}} = \frac{1}{2} \left[\frac{V_{\max}}{\sqrt{V_{\max}} + 0,56\delta} - \frac{(\omega_{зад}^- - \omega_{\max}^-)}{\sqrt{1,5\pi}} \right] \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 0,56\delta}{\frac{V_{\max}}{(\sqrt{V_{\max}} + 0,56\delta)} - \frac{(\omega_{зад}^- - \omega_{\max}^-)}{\sqrt{1,5\pi}}}} \right]; \quad (14)$$

при $\omega_{зад}^+ = \omega_1^+$, $\omega_2^- = \omega_{\max}^-$ співвідношення (11) набуває вигляду

$$\sqrt{V_{зад}} = \frac{1}{2} \left[\frac{V_{\max}}{\sqrt{V_{\max}} + 0,56\delta} - \frac{(\omega_{зад}^+ - \omega_{\max}^-)}{\sqrt{1,5\pi}} \right] \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 0,56\delta}{\frac{V_{\max}}{(\sqrt{V_{\max}} + 0,56\delta)} - \frac{(\omega_{зад}^+ - \omega_{\max}^-)}{\sqrt{1,5\pi}}}} \right]; \quad (15)$$

при $\omega_{\max}^+ = \omega_2^+$, $\omega_{зад}^- = \omega_1^-$ співвідношення (12) набуває вигляду

$$\sqrt{V_{зад}} = \frac{1}{2} \left[\frac{V_{\max}}{\sqrt{V_{\max}} + 0,56\delta} - \frac{(\omega_{\max}^+ - \omega_{зад}^-)}{\sqrt{1,5\pi}} \right] \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 0,56\delta}{\frac{V_{\max}}{(\sqrt{V_{\max}} + 0,56\delta)} - \frac{(\omega_{\max}^+ - \omega_{зад}^-)}{\sqrt{1,5\pi}}}} \right]. \quad (16)$$

Співвідношення (13) для визначення швидкості $V_{зад}$ розгортки частоти сигналу збуджувальної дії необхідно застосовувати при розміщенні резонансної частоти випробовуваного об'єкта в області нижньої частоти діапазону частот АЧХ вібростенда, співвідношення (14) - при розміщенні резонансної частоти випробовуваного об'єкта в області верхньої частоти діапазону частот АЧХ вібростенда, співвідношення (15) - при розташуванні резонансної частоти випробовуваного об'єкта в середній області частот АЧХ вібростенда, співвідношення (16) - не може знайти застосування за рахунок нераціонального вибору $\omega_{зад}^-$.

На підставі співвідношень (13),(14),(15) може бути розроблений алгоритм визначення швидкості $V_{зад}$ розгортки частоти сигналу збуджувальної вібростенд дії, що набуває такої редакції.

1 Для застосованого типу вібростенда відома ширина полоси пропускання АЧХ (відома верхня і нижня частоти діапазону частот АЧХ вібростенда).

2 Відома максимально допустима за технічними характеристиками швидкість V_{max} розгортки частоти сигналу задавального генератора для формування сигналу збуджувальної вібростенд дії.

3 При заданих значеннях V_{max} , ω_{max}^{\pm} , δ швидкість $V_{зад}$ розгортки частоти сигналу збуджувальної дії буде визначатися тільки значенням $\omega_{зад}^{\pm}$, тобто $V_{зад} = f(\omega_{зад}^{\pm})$. Задаючи різні значення $0 < \omega_{зад} < \omega_{max}$ можливо отримати відповідну множину значень $V_{зад}$.

Отримані аналітичні співвідношення (13),(14),(15) і сформований на їх підставі алгоритм визначення швидкості розгортки частоти сигналу збуджувальної вібростенд дії дають можливість розроблення структурної схеми пристрою для реалізації наведеного алгоритму випробовування виробів на віброміцність.

У подальших дослідженнях варто приділити увагу комп'ютерному моделюванню отриманих аналітичних співвідношень і розробці структурних схем пристроїв для реалізації, отриманих на їх основі, алгоритмів.

ВИСНОВКИ

У роботі отримані аналітичні співвідношення для визначення швидкості розгортки частоти сигналу збуджувальної вібростенд дії при урахуванні діапазону частот амплітудно-частотної характеристики вібростенда, резонансної частоти, добротності випробовуваного об'єкту, а також при урахуванні умови нелінійності зміщення по частоті максимуму обвідної напіврозмахів коливань динамічного резонансного піку відносно частоти максимуму статичного від швидкості розгортки частоти сигналу збудження вібростенда.

SUMMARY

In the article there were received analytic parities for definition of frequency scan speed of vibration machine exciting signal. Influence of working range of vibration machine amplitude-frequency characteristic frequencies, resonance frequency and quality factor of an examined object were taking into account. Nonlinearity of shifting according to frequency of maximum of dynamic resonance peak relatively to maximum of a static one depending on frequency scan speed of vibration machine exciting signal.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. А.Е. Божко, Е.А. Личкатый, О.Ф. Полищук, И.Д. Пузько, В.И. Савченко Резонансные виброиспытательские системы.- Киев: Наук. думка, 1992. - 248 с.
2. Ленк А., Ренитц Ю. Механические испытания приборов и аппаратов. – М.:Мир, 1976. – 270 с.
3. Кузнецов А.А. Вибрационные испытания элементов и устройств автоматики. – М.: Энергия 1976. – 120 с.
4. Способ испытания изделий на вибропрочность: А.с. 1478061 СССР, МПК G01M7/00. / В.Г. Назаренко, В.И. Красовский, В.М. Сури́н и Н.Т. Рутковский. - Оpubл. 07.05.89, Бюл. №17, 1989.
5. Деклараційний патент № 37880 України, МПК G01M7/00. Спосіб випробування виробів на віброміцність і пристрій для його здійснення / І.Д. Пузько, В.А. Осіпов. - Оpubл. 16.12.02, Бюл. №12, 2002.
6. Кац А.М. Вынужденные колебания при прохождении через резонанс - Инж.сборник ин-та механики АН СССР, 1947. - Т.3, вып.2. - С. 40-47.

Надійшла до редакції 12 грудня 2005 р.